

大容量光社会を作る仕事の数々

2005年へ 光る道

第14回

大事な大事な光ファイバーを守る
ケーブル製造現場の息の長い努力

信号を伝える光ファイバーは、ガラスゆえ裸のままではとても脆弱なものである。一方で、その中を流れるデータの容量が大きくなればなるほど、ファイバーを封じ込めたケーブルの重要度が高まってくる。張力や熱変化に対抗する強さと、スムーズな施工・作業を実現する優しさ。これらを両立させるため、驚くほど多くの工夫が光ファイバーケーブルには盛り込まれていた。

取材・文 喜多充成 (kita.mitsunari@nifty.com)

Photo: Nakamura Tahrū

背より高いドラムに巻かれ、工場のヤード（置き場）で出荷を待たばかりの光ファイバーケーブル。ドラム表面には“行き先”が詳しく記されている。

2005

1000心もの ファイバーを抱えるケーブルの 被覆の下はどうなっているか

街角で空を見上げれば必ず電線が見える。電柱の連なりとそれを結ぶ電線は、美醜はあっても日本の風景を構成する欠かせない要素だ。雨の日も風の日も、ときには雪が降り積もっても、電力や信号を伝えるのが電線の役目。その全長が10キロメートルでも100キロメートルでも、たった1か所切れただけでルート全域がゼロにカウントされてしまう「つながって当たり前」の常に100パーセントが求められる因果な工業製品だ。作る側にとってしんどいといえば、これほどしんどいものはないだろう。

そこで、黒い被覆に包まれている電線の、その中身に秘められた「いつも100パーセント」を実現する構造や工夫に迫ってみたい、と三菱電線工業の主力工場、兵庫県の伊丹製作所を訪ねた。

「ケーブルがどうなっているかなんて取材を受けるのは初めてですよ」と対応してくれたのは、ケーブル製造を担当する山口俊一郎さんと、村田博昭さん。

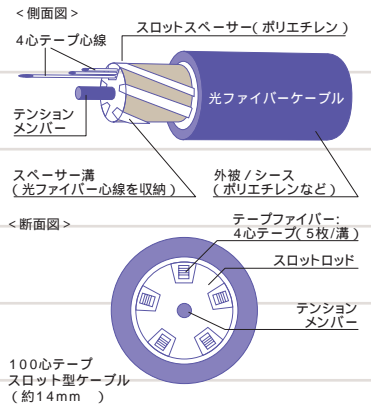
まずカットモデルを見ながら、ポピュラーで

比較的量の出回っている多心型の光ファイバーケーブルについて聞いてみた。

ケーブルの構成要素は大きく4つに分けられる。一番真ん中にあるのが「テンションメンバー」と呼ばれる鋼線。名前の通り、ケーブル全体にかかる張力を引き受ける背骨にあたる構造材だ。その外側に「スロットロッド」という断面が風車の形にも似た樹脂素材がある。羽根と羽根の間の部分に角形の溝が刻まれ、そこに積み重ねられるように落とし込まれるのが「テープファイバー」。4本なり8本なりの光ファイバーを横に並べて接着したものだ。そしてそれらを覆うのが「シース」と呼ばれる外層の被覆である。多いもので1000心。それが直径3センチほどのケーブルの中に封じ込められている。

石英ガラスでできた光ファイバーは脆く折れやすい。一方、ケーブルは製造時に引っ張られ、敷設するときにも引っ張られ……、とあらゆる局面で張力にさらされる存在だ。敷設されたあととも鳥

光ファイバーケーブルの製造工程



心線の数に応じて5～13の溝が設けられた「スロットロッド」。テンションメンバー(鋼線)の周囲に加熱加圧した合成樹脂を周囲から押し付ける、言ってみれば「きりたんぼ」のような製造法。

が止まったり風にあおられたり、さらに雪が積もって太くなったところで強風にあおられたり、その寿命の大半を張力との戦いに費やす。

そのため、製造された直後のファイバーに先々の寿命に影響してくるような細かな傷や欠陥がないかどうか、全数全長にわたって検査を行う。といっても顕微鏡でいちいち見て検査するのではなく、一定の張力をかけてファイバーそのものを引き伸ばすのである。

「製造時、敷設時、敷設後にファイバーにかかるストレスを積算すると、約0.2パーセント分の伸びに相当するストレスだと言われています。この5倍、つまり1パーセント伸ばしてみてもファイバーが切れなければ、統計的に寿命20年はいけるということになっています(村田さん)

かかる張力そのものは1キログラム重程度というが、相手は125ミクロンの糸のようなファイバー。ファイバーが直径5ミリのマドラーとすれば、これを1.6トンもの力で引っ張ると同じだけの張力を加えることになる。「獅子は我が子を千尋の谷に」ではないが、こういう試験に耐えたファイバーだけが、ケーブル製造ラインの門をくぐることができるのだ。

そして、4本または8本並べて樹脂で固められた「テープファイバー」となって、「スロットロッド」に挿入される工程に進む。



三菱電線工業(株) 電線ケーブル事業本部
情報通信事業部 通信技術部技術課長の
山口俊一郎さん



三菱電線工業(株) 伊丹製作所 光通信製
造課長の村田博昭さん



厳寒の北海道から太陽キラキラの宮古島まで 過酷な環境に耐えるケーブルを作る

いかに厳しいセクションを経たファイバーといえども、ケーブル全体にかかる張力をまともに受け止めることはできない。代わってそれを担い、ファイバーを守るのが、テンションメンバーの役割である。が、テンションメンバーはただ強ければいいというものでもない。敷設工事や風力など目で見てもイメージできる張力ばかりが張力ではなく、長年にわたってジワジワとケーブルを傷めつける「寒暖の差によるケーブルそのものの伸縮」という敵がいる。

「送電線の一番てっぺんの架空地線と呼ばれるアース線に使われるケーブルでは、夏場は直射日光で90 ぐらいまで温度が上がる。おまけに地上高も高いので風が強く、ケーブルの環境としてはもっとも過酷ではないでしょうか」(山口さん)

問題となるのは、ケーブルを構成する素材の線膨張率である。つまり1 の温度変化でどれだけ伸び縮みするかという材料そのものの持つ性質だ。光ファイバーは純粋な石英(SiO₂)だし、テンションメンバーは鋼(含有炭素量の

多いFe)。さらに合成樹脂やステンレス、アルミニウムとさまざまな材料がケーブルを構成している。線膨張率を数字で言うと、常温付近で温度1 当たり石英は 0.57×10^{-6} 、鋼線は 11.76×10^{-6} 。つまり同じだけの温度変化で、鋼線と石英の伸び縮みの割合の差はなんと約20倍にもなる。

1日のうちに、あるいは季節を通しての寒暖の差が、張力となってファイバーにストレスを及ぼすのである。

「間に挟み込む樹脂をどんなものにするか、何層にするかを調整して、ファイバーになるべくストレスが及ばないようにします。ちょうどひと揃いだけの衣服の重ね着で暑さも寒さもしのぐようなもので、これもケーブル設計の難しいところ」(山口さん)

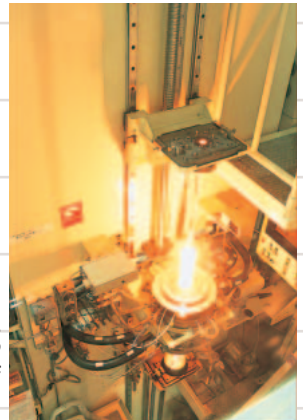
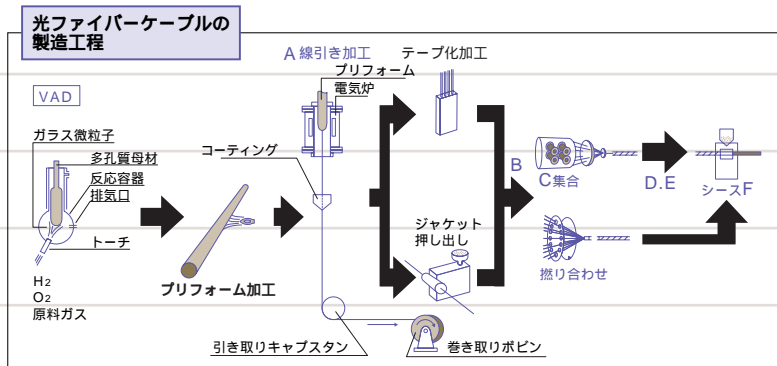
ファイバーは脆い。脆いから鋼線で支える。だがその鋼線がファイバーに悪影響を及ぼすこともある。だから樹脂で緩衝する。ケーブルはただファイバーをぐるぐる巻きにしただけのものではなかったのだ。

それだけ注意深く製造しても、いったん障害が起これば真っ先に疑われるのが、ケーブルメーカーのつらいところ。

「冬の2月、北海道に呼ばれたことがあります。午後4時くらいになるとマイナス20 近くまで気温が下がり、ビニールテープがバリバリで、手もかじかんで巻けないような寒さ。全長20キロメートルの区間をOTDR(光の反射・漏れによって障害点を見つける装置)で絞って見つけ出した」(山口さん)

結局工事の際にカッターの刃が入りすぎてしまったことで起こった断線だったが、その箇所を特定する立証責任まで課せられてしまうのが「100パーセント」を求められるメーカーのつらさだ。

はたまた、日本で一番日射の強い沖縄県の宮古島。ケーブルの被覆が紫外線でどう劣化するかのテストも継続して行っているという。南北に長く環境条件の差の激しい日本の土地で使われることで、光ファイバーケーブルは鍛えられているのである。

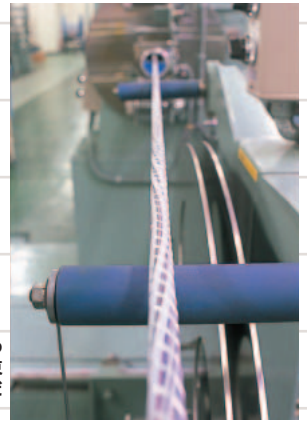


A 光ファイバーの母材の径を整える「延伸工程」。すでにこの中心部には、屈折率の違うコアとクラッドの構造が作り込まれている。1本の母材は、直径125ミクロンの光ファイバー約1000キロメートル分に相当。



B ケーブル内部でのファイバーの「住所」は色の組み合わせで示す。1000心にもなると、もはやクイズ!?

2005



D 左右にうねる「SZ 撚り」がよくわかる。これならば薄ごとテープの束を取り出しても、切ったりつないだりの作業ができる。



細くて長いケーブルに作り込まれた 工事する人、使う人への「思いやり」

耐久性向上のための工夫はまだまだある。「架空か地下のとう道(専用トンネル)に敷設されていたケーブルも、最近では下水道や河床などに置かれるようになってきました。当然、従来以上の耐久性がケーブルにも求められる」(山口さん)

テープファイバーの収まったスロットロッドをグルグル巻きにする不織布のテープには、内部に吸水性樹脂が練り込んである。万一被覆が破れて水が入ったとしても、この樹脂が水を吸って膨張し、栓をする形になってそれ以上の水の進入を防ぐしくみだ。

あるいはネズミ駆除の専門会社の研究所を訪ねての「対鼠性能試験」まで行っている。

「クマネズミ、ドブネズミなどは通信ケーブルが好きで、放っておくとテンションメンバー以外はすべてかじり壊してしまう。ところが、テストしてみるとステンレス網を1層加えたケーブルは、一度やってダメとわかるともう歯を立てない」(村田さん)

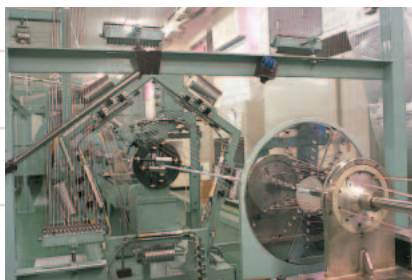
「透明度」や「耐久性」では技術的にやるべきことは、だいたいやり尽くしたとも見える光ファイバーケーブル。だが、さらに「施工性」、つまり現場での工事のしやすさのためにあくなき努力が続けられ、なるほどというような工夫が重ねられている。

たとえばシースの樹脂部に縦に埋め込まれた「引き裂き紐」。多心ケーブルの場合、敷設後に枝分かれする部分を作る工事が伴ってくるが円周方向に工具で切れ目を入れ、この紐を引き抜くと、縦方向に被覆の切れ目ができるわけだ。もしそのためにカッターを入れられるとなると、刃先がファイバーに及ぶ恐れもあるが、これなら安全。

さらに、スロットロッドの溝の部分は、長手方向に見ると周期的に左右にうねるよう作られている。ケーブルを縦に見たとき、溝が「/」と流れているのがS撚り、「\」となるのがZ撚りと呼ばれるが、この「うねった」撚り方「SZ撚り」も意味があつてのこと。これもまた施工性を良くするための工夫である。

何のためかという、このうねりがあるから、被覆を剥いたとき心線がケーブル本体からばらりと離れ、必要な分のテープファイバーをつまんで引き出すことができるようになる。そして、心線だけを切ったりつないだりする作業が可能になるのだ。考えてみれば当たり前なのだが、ケーブルの実物を目にしないとなかなかわからない。このようなちょっとした工夫は、言ってみれば現場で作業する人への思いやりや気配りなのである。

光ファイバーケーブルとメタルケーブルの特徴的な構造上の違いは張力を担う「テンションメンバー」の有無であることはすでに触れた。生物で言う、単純な神経系しか持たない「無脊椎動物」と、機能分化が進み環境への適応力が増した「脊椎動物」ほどの違いである。テンションメンバーという背骨を持った光ファイバーケーブルも、大量の情報流通を支える神経網、文字通りバックボーンとして社会の進化を下支えする重要な役割を担ってすでに久しい。



C テープファイバーがボビンから繰り出され、スロットロッドに収容していく。1000心では125のボビンが同期して回転し、テープファイバーを繰り出す仕組み。



E ファイバーを送るボビンは回転させず、ケーブルの「送り」と「受け」のドラムを周期的に回転させ、SZ撚りの溝にテープファイバーを落とし込む。



F シースと呼ばれる最後の外部被覆を施されたケーブル。加熱された樹脂の熱が内部に及ぶ前に水冷し、固化させる。



[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp